

Verfahren zur Versorgung eines Plasmabrenners mit einem Gas, Mischgas oder Gasgemisch  
und Anordnung zur Versorgung eines Plasmabrenners mit einem Gas, Mischgas oder  
Gasgemisch

---

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Versorgung eines Plasmabrenners mit einem Gas, Mischgas oder Gasgemisch, bei dem eine Volumenstromregelung des Gases bzw. Mischgases bzw. Gasgemisches durchgeführt wird. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung eine Anordnung zur Versorgung eines Plasmabrenners mit einem Gas oder Mischgas oder Gasgemisch, mit einer Einrichtung zur Zuführung des Gases oder Mischgases oder Gasgemisches zum Plasmabrenner und einer Volumenstromregeleinrichtung zur Regelung des Volumenstromes des Gases oder Mischgases oder Gasgemisches.

Als Plasmagas werden unterschiedliche Gase, zum Beispiel das einatomige Argon und/oder die zweiatomigen Gase Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff oder Luft eingesetzt. Diese Gase ionisieren und dissoziieren durch die Energie des Plasmalichtbogens. Ein Plasmamischgas ist ein bereits vom Lieferanten vorgemischtes Plasmagas, während ein Plasmagasgemisch ein erst vor Ort gemischtes Plasmagas ist.

In der Regel wird bei einem Plasmabrenner das Plasma durch eine wassergekühlte Düse eingeschnürt. Dadurch können Energiedichten bis  $2 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$  erreicht werden. Im Plasmabogen eines Plasmaschneidbrenners entstehen Temperaturen bis  $30.000^\circ\text{C}$ , die in Verbindung mit der hohen Strömungsgeschwindigkeit des Plasmagases sehr hohe Schneidgeschwindigkeiten an allen elektrisch leitfähigen Werkstoffen realisieren.

Für einen Plasmaschneidprozeß wird zunächst ein Pilotlichtbogen zwischen Düse und Kathode des Plasmaschneidbrenners mittels Hochspannung gezündet. Dieser energiearme Pilotbogen bereitet durch teilweise Ionisation die Strecke zwischen Plasmaschneidbrenner

und Werkstück vor. Berührt der Pilotbogen das Werkstück, kommt es zur Ausbildung des Schneidlichtbogens.

Plasmaschneiden ist ein etabliertes Verfahren zum Schneiden elektrisch leitender Werkstoffe. Je nach Schneidaufgabe werden unterschiedliche Gase und Gasgemische eingesetzt. Übliche Gase und Gasgemische sind zum Beispiel Luft, Sauerstoff, Stickstoff und deren Gasgemische sowie Argon/Wasserstoff/Stickstoff-Gemische.

Unlegierte Stähle werden in der Regel mit Luft oder Sauerstoff geschnitten. Legierte Stähle und Nichteisenmetalle werden vorzugsweise mit speziellen Argon-Wasserstoff-, Stickstoff-Wasserstoff- bzw. Argon-Wasserstoff-Stickstoff-Gemischen geschnitten. Zur Verbesserung der Schnittqualität wird heutzutage auch ein zusätzliches Sekundärgas, das den Plasmastrahl zusätzlich umströmt, eingesetzt. Das zusätzliche Sekundärgas hat die Aufgaben, die Düse des Plasmaschneidbrenners bei Einstechen in das Werkstück vor zurückspritzendem Werkstückmaterial und damit vor einer Schädigung zu schützen, die Schmelze beim Schneiden so zu beeinflussen, daß ein bartfreier Schnitt entsteht und als Schutzgas die bereits geschnittene und noch heiße Schnittoberfläche vor Oxidation zu schützen.

Diese Plasma- und Sekundärgase sowie –mischgase und –gasgemische werden über Leitungen und Magnetventile den Plasmaschneidbrennern zugeführt. Eine Dosierung dieser Gase erfolgt meistens über die Stellung oder Regelung des Druckes.

Die Druckregelung kann sowohl mechanisch über Druckminderer, als auch elektronisch über Druckregelventile erfolgen. Der Einsatz elektronischer Druckregler ist insbesondere in automatisierten Systemen, bei denen unterschiedlichste Parameter des Plasmaschneidens, wie der Schneidstrom, die Schneidspannung, der Gasdruck, die Schneidgeschwindigkeit, die Materialdicke und der Plasmaschneidbrennerabstand in Datenbanken abgelegt sind, um eine möglichst hohe Reproduzierbarkeit des Schnittergebnisses zu erreichen, üblich.

So wird in der DE 195 36 150 C2 eine Einrichtung und ein Verfahren zur Gassteuerung eines Plasmabrenners beschrieben, bei denen die Gasströmung durch eine Anordnung bestehend aus einem Proportionalventil, einem Drucksensor und einer Blende im Plasmabrenner eingestellt wird.

In der EP 0 697 935 B1 erfolgt die Gasdosierung mit Hilfe veränderlicher Nadelventile. Der Querschnitt der Nadelventile bestimmt in Kombination mit dem eingestellten Druck die Gasmenge. Der Volumenstrom kann dabei mit Hilfe von Schwebekörper-Meßröhren angezeigt werden.

Eine Erzeugung von Gasgemischen, die insbesondere für die Bearbeitung von legierten Stählen und Nichteisenmetallen benötigt werden, kann jedoch mit Hilfe einer Druckregelung nicht reproduzierbar erfolgen. Es wurde daher versucht, durch Hilfseinrichtungen diesen Nachteil zu verringern. So wird in der DD 54 347 der Einsatz einer Mischkammer mit Druckblenden beschrieben. Dies schafft aber auch keine Abhilfe, da das Mischungsverhältnis stark begrenzt ist.

Besonders das Mischen von Gasen unterschiedlicher Dichte und unterschiedlichster Mischungsverhältnisse bereitet die größten Schwierigkeiten. Auch der Einsatz verschiedener bekannter Mischeinrichtungen, wie zum Beispiel T-Fittings, Injektoren, Labyrinthanordnungen und Anordnungen von Düsen, wie zum Beispiel in der DD 132247 beschrieben, können nicht die optimalen benötigten unterschiedlichsten Mischungsverhältnisse erzeugen.

Es ist aber auch eine Gasdosierung mittels reiner Volumenstromregelung bekannt. Damit können definierte Gasgemische reproduzierbar erzeugt werden.

In der US-6,972,248 B1 werden ein Verfahren und eine Anordnung zur Reduzierung des Elektroden- und Düsenverschleißes beim Sauerstoff-Plasmaschneiden durch Verwendung eines Sauerstoff-Stickstoff-Gemisches anstelle reinen Sauerstoffs beschrieben. Bei dem bekannten Verfahren wird ein konstanter Volumenstrom der einzelnen Plasmagase mittels einer Anordnung, bestehend aus Nadelventilen und Differenzdruckmessern, derart erzeugt, daß der Differenzdruck vor und hinter den Differenzdruckmessern mit Hilfe der vorgeschalteten Nadelventile, konstant gehalten wird. Zwischen den Regelstrecken und dem Plasmabrenner befinden sich Druckreduzierventile, die den Maximaldruckversorgungsdruck für den Plasma-brenner begrenzen.

So werden in dem deutschen Gebrauchsmuster DE 201 21 641.8 U1 ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1 und eine Anordnung gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 14 beschrieben.

Wenn eine Volumenstromregelung zwar einen in Abhängigkeit vom Meßverfahren nahezu konstanten Volumenstrom eines Gases bzw. mehrerer Gase und eine reproduzierbare Herstellung eines Gasgemisches ermöglicht, ist die damit erzielbare Schnittqualität der geschnittenen Materialien, insbesondere beim Schnittbeginn, ungenügend. Die ungenügende Schnittqualität kann zum Beispiel in einem unsicheren Einstechen (zum Beispiel kein oder verzögertes Übersetzen eines Pilotbogens) in das zu schneidende Material, unsicherem Durchschneiden (zum Beispiel Stehenbleiben von Material) , Bartbildung (Schlacke an Werkstück-unterseite) und starker Winkelabweichung (zum Beispiel Überschreitung von Rechtwinkeligkeits- oder Neigungstoleranz) bestehen.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, das gattungsgemäße Verfahren und die gattungsgemäße Anordnung derart weiterzubilden, daß sich damit bessere Schnittqualitäten erzielen lassen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei dem gattungsgemäßen Verfahren dadurch gelöst, daß die Volumenstromregelung in Kombination mit einer Druckregelung des Gases bzw. Mischgases bzw. Gasgemisches durchgeführt wird derart, daß mittels der Druckregelung der Betrag des Gesamtvolumenstroms durch die Plasmabrennerdüse des Plasmabrenners geregelt wird und mittels der Volumenstromregelung die den Gesamtvolumenstrom ergebenden Volumenstromanteile unter Berücksichtigung der gewünschten Gaszusammensetzung geregelt werden.

Zudem wird diese Aufgabe bei der gattungsgemäßen Anordnung dadurch gelöst, daß die Volumenstromregleinrichtung mit einer Druckregleinrichtung zur Regelung des Druckes des Gases bzw. Mischgases bzw. Gasgemisches derart kombiniert ist, daß mittels der Druckregleinrichtung der Betrag des Gesamtvolumenstroms durch die Plasmabrennerdüse des Plasmabrenners geregelt wird und mittels der Volumenstromregleinrichtung die den Gesamtvolumenstrom ergebenden Volumenstromanteile unter Berücksichtigung der gewünschten Gaszusammensetzung geregelt werden.

Bei dem Verfahren kann vorgesehen sein, daß der Druck im Innenraum des Plasmabrenners zwischen der Elektrode und der Plasmabrennerdüse des Plasmabrenners direkt oder indirekt gemessen wird.

Insbesondere kann dabei vorgesehen sein, daß der Druck in Gaszuführungsrichtung vor dem Plasmabrenner gemessen wird.

Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, daß die Volumenstromregelung mittels einer Volumenstromregleinrichtung bzw. mittels Volumenstromregleinrichtungen durchgeführt wird und der Druck zwischen der bzw. den Volumenstromregleinrichtung(en) und dem Plasmabrenner gemessen wird.

Weiterhin ist denkbar, daß die Drücke der Einzelgase oder einzelnen Mischgase gemessen werden und ein mittlerer Druck aus den gemessenen Drücken gebildet wird.

Alternativ können die Einzelgase oder einzelnen Mischgase zusammengeführt werden und der resultierende Druck gemessen werden. Die Zusammenführung der Einzelgase oder Mischgase kann zum Beispiel dadurch erfolgen, daß die Gasschläuche, in denen die Einzelgase oder Mischgase zugeführt werden, miteinander verbunden werden. Dadurch entsteht ein gemeinsamer Raum, in dem sich alle drei Einzelgase bzw. Mischgase befinden.

Weiterhin kann auch vorgesehen sein, daß mindestens zwei Einzelgase oder Mischgase zusammengeführt werden und der resultierende Druck gemessen wird. Wenn also nicht für jedes Einzelgas bzw. Mischgas der Druck gemessen wird, läßt sich damit der Geräteaufwand reduzieren.

Günstigerweise wird der Volumenstrom eines Gasgemisches geregelt, indem die Volumenströme der Einzelgase oder einzelnen Mischgase des Gasgemisches geregelt werden.

Vorteilhafterweise wird mindestens ein Volumenstrom auf der Basis der kalorimetrischen Messung des Volumenstroms, auf der Basis der Messung des Volumenstroms aus dem Differenzdruck oder auf der Basis einer Impulsmessung geregelt.

Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, daß der Plasmabrenner zusätzlich mit Sekundärgas oder Sekundärmischgas oder Sekundärgasgemisch versorgt wird und der Volumenstrom des Sekundärgases oder Sekundärmischgases oder Sekundärgasgemisches geregelt wird.

Insbesondere kann dabei vorgesehen sein, daß die Volumenstromregelung des Sekundärgases bzw. Sekundärmischgases bzw. Sekundärgasgemisches in Kombination mit einer Druckregelung des Sekundärgases bzw. Sekundärmischgases bzw. Sekundärgasgemisches durchgeführt derart, daß mittels der Druckregelung der Betrag des Gesamtvolumenstroms des Sekundärgases bzw. Sekundärmischgases bzw. Sekundärgasgemisches durch die Sekundärgasdüse des Plasmabrenners geregelt wird und mittels der Volumenstromregelung die den Gesamtvolumenstrom ergebenden Volumenstromanteile unter Berücksichtigung der gewünschten Sekundärgaszusammensetzung geregelt werden.

Vorteilhafterweise Verfahren wird der Plasmabrenner vor der Versorgung mit dem Gas bzw. Mischgas bzw. Gasgemisch mit einem Vorströmgas mit Druckregelung und/oder nach der Versorgung mit dem Gas bzw. Mischgas bzw. Gasgemisch mit einem Nachströmgas mit Druckregelung separat versorgt wird.

Schließlich kann bei dem Verfahren vorgesehen sein, daß das Gas, Mischgas oder Gasgemisch ein Plasmagas, Plasmamischgas oder Plasmagasgemisch ist.

Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung.

Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, daß durch Kombination von Volumenstromregelung und Druckregelung in der beanspruchten Weise der tatsächlich durch die Plasmabrennerdüse gehende Volumenstrom geregelt werden kann. Wie nämlich Untersuchungen ergeben haben, ist für die Schnittqualität letztlich der Volumenstrom, der tatsächlich durch die Plasmabrennerdüse des Plasmabrenners geht, und nicht der durch die Volumenstromregler strömende Gasvolumenstrom entscheidend. Gasschläuche, die den Plasmabrenner mit den Volumenstromreglern verbinden, führen jedoch dazu, daß der Volumenstrom durch die Volumenstromregler nicht mit dem tatsächlich durch die

Plasmabrennerdüse gehenden Volumenstrom identisch ist. Ursache für die Differenz zwischen dem Volumenstrom in den Volumenstromreglern und der Plasmabrennerdüse sind das Volumen der sich dazwischen befindenden Gasschläuche und die Kompressibilität von Gasen.

Dies macht sich insbesondere bei Übergängen zwischen den beim Plasmaschneiden auftretenden unterschiedlichen Betriebszuständen bemerkbar. Im Innenraum des Plasmabrenners (zwischen Elektrode und Plasmabrennerdüse) werden nämlich in Abhängigkeit vom jeweiligen Betriebszustand, wie Prozeßstart, Pilotlichtbogen, Hauptlichtbogen und Prozeßende unterschiedliche Innendrucke benötigt, um einen bestimmten Volumenstrom zu realisieren. Diese werden durch die veränderlichen Lichtbogenströme, die einen unterschiedlichen Durchmesser des Plasmastrahls erzeugen und somit den Düsenkanal verengen, erzeugt. So betragen die Ströme bei Pilotlichtbogen beispielsweise 10 – 25 A und beim Hauptlichtbogen 20 – 1000 A.

Mit der vorliegenden Erfindung kann auf schnell veränderliche Druckverhältnisse im Innenraum des Plasmabrenners, insbesondere während der Übergangsvorgänge, wie zum Beispiel Zünden des Pilotbogens, Übersetzend des Pilotbogens zum Werkstück und Ausbilden des Hauptbogens (Schneiden) reagiert werden, ohne das Mischungsverhältnis des Gasgemisches zu verändern. Dies gelingt dadurch, daß das Ergebnis der Druckmessung dem Sollwert der Volumenstromregeleinrichtung derart überlagert wird, daß ein vom Betriebszustand des Plasmabrenners unabhängiger Druck im Raum zwischen den Volumenstromregeleinrichtungen und dem Plasmabrenner bzw. im Innenraum des Plasmabrenners realisiert wird und das Mischungsverhältnis des Gasgemisches unverändert bleibt. Damit steht ein optimales Plasmagasgemisch von Beginn an dem Schneidprozeß zur Verfügung.



Sowohl Einzelgase an sich als auch die Einzelgase für Gasgemische können in großen Bereichen geregelt und damit der Schneidaufgabe optimal angepaßt werden. So wird eine große Reproduzierbarkeit der Schnittergebnisse erreicht.

Die Stellung des Volumenstromes kann beispielsweise mit Hilfe von Proportionalventilen oder Motorventilen erfolgen. Die Messung des Drucks kann mit Hilfe an sich bekannter Drucktransmitter erfolgen.

Die Volumenstrom- und Druckregelung können analog oder digital und entsprechend ansteuerbar sein. Der gemessene Volumenstrom kann visualisiert und überwacht werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann in ein Qualitätssicherungs- und Dokumentationssystem eingebunden werden. In Auswertung mit anderen Prozeßparametern können Rückschlüsse auf die Schneidqualität gezogen werden.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen und aus der nachstehenden Beschreibung, in der zwei Ausführungsbeispiele anhand der schematischen Zeichnungen im einzelnen erläutert sind. Dabei zeigt:

Figur 1                    schematisch eine Anordnung zur Versorgung eines als Plasmaschneidbrenner ausgeführten Plasmabrenners mit einem Plasmagasgemisch und einem Sekundärgasgemisch gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figur 2                    eine Anordnung zur Versorgung eines als Plasmaschneidbrenner ausgeführten Plasmabrenners mit Plasmagasgemisch und

Sekundärgasgemisch gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung;

Figur 3 schematisch eine Anordnung zur Versorgung eines als Plasmaschneidbrenner ausgeführten Plasmabrenners mit einem Sekundärgasgemisch gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung; und

Figur 4 ein Detail von Figur 1.

Die Figur 1 zeigt eine Anordnung 10 zur Versorgung eines als Plasmaschneidbrenner ausgeführten Plasmabrenners, von dem nur eine Elektrode 12, eine Plasmabrennerdüse 14 und eine Sekundärgasdüse 16 gezeigt sind, mit einem Argon/Wasserstoff/Stickstoff-Gemisch zum Plasmaschneiden legierter Stähle und Nichteisenmetalle. Sie umfaßt eine Einrichtung 18 zur Zuführung eines Plasmagasgemisches, die für jedes Einzelgas, nämlich Argon (Ar), Wasserstoff ( $H_2$ ) und Stickstoff ( $N_2$ ), des Plasmagasgemisches (Argon/Wasserstoff/Stickstoff-Gemisch) eine Einzelgasquelle (nicht gezeigt) aufweist, die über eine jeweilige Schlauchleitung 6a, 6b, 6c mit einer Plasmagasmischeinrichtung 22 verbunden ist. Die Plasmagasmischeinrichtung steht über einen Plasmagasgemischschlauch 9a mit der Plasmabrennerdüse 14 in Verbindung.

Weiterhin ist eine Einrichtung 20 zur Zuführung eines Sekundärgasgemisches vorgesehen. Diese umfaßt Quellen (nicht gezeigt) für die Einzelgase, das heißt in diesem Fall  $N_2$  und  $H_2$ , des Sekundärgases, die über jeweilige Schlauchleitungen 6d und 6e mit einer Sekundärgasmischeinrichtung 26 in Verbindung stehen, die über eine Schlauchleitung 7d und einen Sekundärgasgemischschlauch 9d mit der Sekundärgasdüse 16 in Verbindung steht.

In jeder Schlauchleitung 6a, 6b und 6c sowie 6d und 6e sind jeweils ein Druckschalter 2a, 2b, 2c, 2d bzw. 2e und eine Volumenstromregeleinrichtung 1a, 1b, 1c, 1d bzw. 1e und ein Magnetventil 3a, 3b, 3c, 3d bzw. 3e in Reihe hintereinander vorgesehen.

In der Einrichtung 18 zur Zuführung eines Plasmagasgemisches ist darüber hinaus dem jeweiligen Magnetventil 3a, 3b bzw. 3c eine Druckmeßeinrichtung 4a, 4b bzw. 4c nachgeschaltet. Die Druckmeßeinrichtungen 4a, 4b und 4c stehen über Signalleitungen mit einer Steuereinrichtung 5 in Verbindung, die wiederum über eine jeweilige Steuerleitung mit den Volumenstromregeleinrichtungen 1a, 1b und 1c in Verbindung steht.

Hinter den Druckmeßeinrichtungen 4a, 4b und 4c sind in den Schlauchleitungen 7a, 7b und 7c jeweilige Magnetventile 8a, 8b und 8c angeordnet. Hinter den Magnetventilen 8a, 8b und 8c werden die Schlauchleitungen 7a, 7b und 7c zum Plasmagasgemischschlauch 9a zusammengeführt.

In der Einrichtung 20 zur Zuführung eines Sekundärgasgemisches sind die Schlauchleitungen 6d und 6e hinter den Magnetventilen 3d und 3e über die Sekundärgasmischeinrichtung 26 zur Schlauchleitung 7d zusammengeführt. Dahinter ist auf der Seite des Plasmabrenners ein Magnetventil 8d angeordnet.

Nachfolgend wird der Betrieb der Anordnung 10 von Figur 1 erläutert:

Die Einzelgase für das Plasmagas, im vorliegenden Fall Argon, Stickstoff und Wasserstoff werden den Volumenstromregeleinrichtungen 1a, 1b und 1c über die Schlauchleitungen 6a, 6b und 6c zugeführt. Die Druckschalter 2a, 2b und 2c überwachen das Vorhandensein eines minimal benötigten Gasdrucks. Einzelne Volumenstromsollwerte  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  werden von der Steuereinrichtung 5 entsprechend den gewählten Parametern den jeweiligen Volumenstromregeleinrichtungen 1a, 1b und 1c übermittelt. Vor Beginn des

Plasmaschneidprozesses werden die Magnetventile 3a, 3b und 3c und zunächst auch die Magnetventile 8a, 8b und 8c geöffnet, um die Schlauchleitungen 6a, 6b und 6c zu spülen. Danach werden die Schlauchleitungen 6a, 6b und 6c durch die Volumenstromregleinrichtungen 1a, 1b und 1c auf den von der Steuereinrichtung 5 vorgegebenen Druck, der durch die Druckmeßeinrichtungen 4a, 4b und 4c ermittelt wird, gefüllt. Dies geschieht bei geschlossenen Magnetventilen 8a, 8b und 8c, damit sich der Druck aufbauen kann. Vorteilhafterweise findet die Befüllung der Schlauchleitungen 6a, 6b und 6c mit demselben Druck, beispielsweise 4 bar, statt, damit zu Beginn des Plasmaschneidprozesses keine Ausgleichsvorgänge zwischen den Einzelgasen stattfinden.

Zu Beginn des Plasmaschneidprozesses werden die Magnetventile 3a, 3b, 3c und 8a, 8b sowie 8c geöffnet und werden die entsprechenden Volumenströme der Einzelgase und damit der Gesamtvolumenstrom des Plasmagasgemisches eingestellt. Dabei wird der Druck einer Druckmeßeinrichtung, zum Beispiel 4a, von der Steuerung 5 ausgewertet, da bei geöffneten Magnetventilen 8a, 8b und 8c ein Raum entstanden ist, in dem alle Schlauchleitungen 6a, 6b und 6c miteinander verbunden sind. Es ist auch möglich, alle Druckmeßeinrichtungen 4a, 4b und 4c auszuwerten und dann beispielsweise einen mittleren Druck anhand der gemessenen Drücke zu bilden. In der Vorströmzeit, das heißt unmittelbar vor Zünden des Pilotbogens, strömt dann ein definiertes Plasmagasgemisch mit einem vorgewählten Druck, zum Beispiel 4 bar, durch den Plasmabrenner. Der resultierende Druck wird der Steuereinrichtung 5 zugeführt und so verarbeitet, daß die gewählten Volumenstromsollwerte  $w_1$ ,  $w_2$  und  $w_3$  zu neuen Volumenstromsollwerten  $w_1^*$ ,  $w_2^*$  und  $w_3^*$  gewandelt werden, die den gewünschten Druck im Innenraum des Plasmabrenners bei konstanter Gasmischung zwischen den Volumenstromregleinrichtungen 1a, 1b und 1c und Plasmabrenner einstellen. Nach Zünden des Pilotbogens wird der Druck auf den für den Plasmaschneidprozeß benötigten Druck, zum Beispiel 6 bar, erhöht. Dies geschieht durch Anheben des Drucksollwertes  $p_{\text{soll}}$  (siehe Figur 4) in der Steuereinrichtung 5, wobei der erhöhte Drucksollwert  $p_{\text{soll}}$  die Volumenströme der Einzelgase entsprechend erhöht. So wird realisiert, daß immer der gewünschte Druck in dem Innenraum des Plasmabrenners und das gewünschte Plasmagasmischungsverhältnis anliegen.

Auch Druckschwankungen vor dem Plasmabrenner während der Betriebszustände werden ausgeglichen, zum Beispiel bei Stromabsenkung beim Schneiden einer Ecke oder am Ende eines Schnitts.

Mit den Volumenstromsollwerten  $w_1$ ,  $w_2$  und  $w_3$  werden die Volumenströme der Einzelgase und damit das Mischungsverhältnis gewählt. Der Druck vor dem Plasmabrenner bestimmt den Druck im Innenraum des Plasmabrenners zwischen der Elektrode 12 und der Plasmabrennerdüse 14 und damit auch den Volumenstrom, der letztlich durch die Plasmabrennerdüse 14 fließt. Der durch die eingestellten Volumenströme erreichte Druck wird mittels der Druckeinrichtung 4a als Druckistwert  $p_{ist}$  gemessen und der Steuereinrichtung 5 zugeführt. Stimmt dieser Druckistwert  $p_{ist}$  nicht mit dem gewählten Drucksollwert  $p_{soll}$  überein, das heißt, reichen die Volumenströme durch die Volumenstromregleinrichtungen 1a, 1b und 1c nicht aus, um den Drucksollwert  $p_{soll}$  zu erreichen, wird die Druckdifferenz  $\Delta p = p_{soll} - p_{ist}$  ermittelt und mit einem Faktor  $k$  multipliziert zum Volumenstromsollwert  $w_1$ ,  $w_2$  bzw.  $w_3$  der Volumenstromregleinrichtungen 1a, 1b und 1c addiert. Dies wird durch die nachfolgende Gleichung wiedergegeben:

$$w^* = w + k \times \Delta p.$$

Dadurch ergeben sich die bearbeiteten Volumenstromsollwerte  $w_1^*$ ,  $w_2^*$  und  $w_3^*$ . Ist der Druckistwert  $p_{ist}$  größer als der Drucksollwert  $p_{soll}$ , so ist  $\Delta p$  negativ (siehe Figur 4). Dadurch verringern sich die Volumenstromsollwerte für die Volumenstromregleinrichtungen 1a, 1b und 1c. Die einstellbaren Volumenströme, Gasgemische und Drücke lassen sich auf einem Bedienfeld durch Software auf sinnvolle und sichere Werte begrenzen.

Mit der vorangehend beschriebenen Anordnung ist selbstverständlich auch die Regelung von Einzelgasen, sowohl von oxidierenden, wie zum Beispiel Luft, Sauerstoff, und nichtoxidierenden, wie Argon, Wasserstoff, Stickstoff oder deren Gemische möglich.

Es besteht die Möglichkeit, mit dem Plasmabrenner mit Luft und Sauerstoff unlegierten Stahl und mit einem Argon-Wasserstoff-Stickstoff-Gemisch legierte Stähle zu schneiden.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, mit dieser Anordnung ein Plasmaschneid- und Plasmamarkierverfahren durchzuführen. Beim Wechsel zwischen vorgenannten Verfahren muß zwischen unterschiedlichen Plasmagasen umgeschaltet werden. So wird beispielsweise beim Plasmaschneiden von Baustahl Sauerstoff und beim Plasmamarkieren ein Argon-Stickstoff-Gemisch verwendet. Der Plasmagaswechsel soll dabei wegen hoher Produktivität schnell erfolgen. Es muß jedoch sichergestellt werden, daß ein vollständiger Plasmagasaustausch stattgefunden hat. Deshalb müssen die Schlauchleitungen 6a, 6b und 6c entlüftet und mit dem neuen Plasmagasegemisch gespült und gefüllt werden. Da die Plasmabrennerdüse 14 oftmals eine sehr kleine Bohrung aufweist (zum Beispiel mit einem Durchmesser von 0,7 mm), kann dieser Vorgang relativ lange, in Abhängigkeit von der Länge der Schlauchleitungen beispielsweise 10 Sekunden und länger dauern. Zur Verkürzung der Zeit ist ein Magnetventil 8e vorgesehen, das die Gasschläuche 7a, 7b und 7c bei geöffneten Magnetventilen 8a, 8b oder 8c schnell entlüftet. Dadurch kann die Zeit auf unter 3 Sekunden reduziert werden.

Figur 2 zeigt eine Anordnung 10, die sich von der Anordnung von Figur 1 durch eine kombinierte Vorströmgas- und Nachströmgaszuführeinrichtung, umfassend ein Magnetventil 3f, eine Schlauchleitung 7f und ein Magnetventil 8f, zur separaten Zuführung eines Vorström- und eines Nachströmgesetzes zum Plasmabrenner und durch eine Druckregeleinrichtung 17 zur Regelung des Druckes des Vorström- und des Nachströmgesetzes unterscheidet. Weiterhin unterscheidet sich die Anordnung 10 von Figur 2 von der Anordnung von Figur 1 darin, daß

die Plasmagase Argon und Stickstoff schon in der Einrichtung 18 zur Zuführung eines Plasmagasgemisches in einer Plasmagasmischeinrichtung 24 gemischt werden.

Der Vorteil der Anordnung 10 von Figur 2 besteht darin, daß das Vorströmgas mit einem anderen Druck, zum Beispiel 4 bar, durch den Plasmabrenner strömen kann, während die zum Plasmaschneiden benötigten Gase bereits mit dem zum Plasmaschneiden benötigten Druck, zum Beispiel 6 bar, vor Plasmaschneidbeginn bis zu den Magnetventilen 8a und 8c anliegen. Damit entfällt die in Figur 1 noch benötigte Umschaltung des Drucks von 4 bar auf 6 bar bei Zündung des Pilotbogens. Während des Vorströmens sind die Magnetventile 3a, 3b, 3c und 3f sowie das Magnetventil 8f geöffnet. Die Schlauchleitungen 7a und 7c werden durch die Volumenstromregleinrichtungen 1a und 1c bis auf den von der Steuereinrichtung 5 vorgegebenen Druck, der durch die Druckmeßeinrichtungen 4a und 4c ermittelt wird, gefüllt. Dabei sind die Magnetventile 8a und 8c des Plasmabrenners geschlossen, damit sich der Druck von beispielsweise 6 bar aufbauen kann.

Nach Zünden des Pilotbogens werden die Magnetventile 8a und 8c geöffnet und die Magnetventile 3f und 8f geschlossen. Auch hier werden durch die Verarbeitung der Druckmeßwerte der Druckmeßeinrichtung 4a in der Steuereinrichtung 5 die Volumenströme der Einzelgase so beeinflußt, daß immer der gewünschte Druck und das gewünschte Plasmagasmischungsverhältnis am Plasmabrenner anliegen. Nach Beendigung des Plasmaschneidens werden die Magnetventile 8a und 8c wieder geschlossen und die Magnetventile 3f und 8f geöffnet. Dadurch kann nachfolgend Nachströmgas zugeführt werden.

In den Figuren 1 und 2 wird das Sekundärgas nur durch die Volumenstromregleinrichtungen 1d und 1e geregelt, die während des gesamten Plasmaschneidprozesses den Sekundärgasvolumenstrom bei geöffneten Magnetventilen 3d, 3e und 8d konstant halten. Bei Plasmabrennern, die so konstruiert sind, daß sich die Bohrung der Sekundärgasdüse 16 durch einen Plasmastrahl nicht wesentlich verengt, reicht dies aus. Dies trifft für Plasmabrenner zu,

deren Bohrung der Sekundärgasdüse 16 mindestens doppelt so groß ist wie die Plasmabrennerdüse 14. Für kleinere Durchmesserhältnisse ist für die Versorgung mit Sekundärgas das gleiche Verfahren wie bei der Versorgung mit Plasmagas anzuwenden. Dies ist in Figur 3 dargestellt. Es wird also eine kombinierte Volumenstrom- und Druckregelung des Sekundärgases analog zur Volumenstrom- und Druckregelung der Versorgung mit Plasmagas gemäß den Figuren 1 und 2 durchgeführt.

Das Verfahren zur Versorgung mit Gas ist prinzipiell auch für das Plasmatechnologien, wie beispielsweise Plasmaschweißen, Plasmafugen, Plasmamarkieren geeignet.

In den beschriebenen Ausführungsformen ist der Druck in dem Innenraum des Plasmabrenners indirekt über die Druckmeßeinrichtungen 4a, 4b und 4c gemessen worden. Selbstverständlich könnte alternativ eine Druckmeßeinrichtung zur direkten Messung des Druckes im Innenraum des Plasmabrenners vorgesehen sein.

Die in der vorliegenden Beschreibung, in den Zeichnungen sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebigen Kombinationen für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.



Bezugszeichenliste

1a, 1b, 1c, 1d, 1e	Volumenstromregeleinrichtungen
2a, 2b, 2c, 2d, 2e	Druckschalter
3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f	Magnetventile
4a, 4b, 4c	Druckmeßeinrichtungen
5	Steuereinrichtung
6a, 6b, 6c, 6d, 6e	Schlauchleitungen
7a, 7b, 7c	Schlauchleitungen
7f	Schlauchleitung
8a, 8b, 8c	Magnetventile
8d, 8f	Magnetventil
9a	Plasmagasgemischschlauch
9d	Sekundärgasgemischschlauch
10	Anordnung
12	Elektrode
14	Plasmabrennerdüse
16	Sekundärgasdüse
17	Druckregeleinrichtung
18	Einrichtung zur Zuführung eines Plasmagasgemisches

20	Einrichtung zur Zuführung eines Sekundärgasgemisches
22	Plasmagasmischeinrichtung
24	Plasmagasmischeinrichtung
26	Sekundärgasmischeinrichtung
k	Faktor
w1, w2, w3	neue Volumenstromsollwerte
w1*, w2*, w3*	Volumenstromsollwerte
p <sub>soll</sub>	Drucksollwert
p <sub>ist</sub>	Druckistwert

Ansprüche

1. Verfahren zur Versorgung eines Plasmabrenners mit einem Gas, Mischgas oder Gasgemisch, bei dem eine Volumenstromregelung des Gases bzw. Mischgases bzw. Gasgemisches durchgeführt wird,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Volumenstromregelung in Kombination mit einer Druckregelung des Gases bzw. Mischgases bzw. Gasgemisches durchgeführt wird derart, daß mittels der Druckregelung der Betrag des Gesamtvolumenstroms durch die Plasmabrennerdüse des Plasmabrenners geregelt wird und mittels der Volumenstromregelung die den Gesamtvolumenstrom ergebenden Volumenstromanteile unter Berücksichtigung der gewünschten Gaszusammensetzung geregelt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck im Innenraum des Plasmabrenners zwischen der Elektrode und der Plasmabrennerdüse des Plasmabrenners direkt oder indirekt gemessen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck in Gaszuführungsrichtung vor dem Plasmabrenner gemessen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Volumenstromregelung mittels einer Volumenstromregeleinrichtung bzw. mittels Volumenstromregeleinrichtungen durchgeführt wird und der Druck zwischen der bzw. den Volumenstromregeleinrichtung(en) und dem Plasmabrenner gemessen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Drücke der Einzelgase oder einzelnen Mischgase gemessen werden und ein mittlerer Druck aus den gemessenen Drücken gebildet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelgase oder einzelnen Mischgase zusammengeführt werden und der resultierende Druck gemessen wird.
7. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Einzelgase oder Mischgase zusammengeführt werden und der resultierende Druck gemessen wird.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Volumenstrom eines Gasgemisches geregelt wird, in dem die Volumenströme der Einzelgase oder einzelnen Mischgase des Gasgemisches geregelt werden.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Volumenstrom auf der Basis der kalorimetrischen Messung des Volumenstroms, auf der Basis der Messung des Volumenstroms aus dem Differenzdruck oder auf der Basis einer Impulsmessung geregelt wird.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Plasmabrenner zusätzlich mit Sekundärgas oder Sekundärmischgas oder Sekundärgasgemisch versorgt wird und der Volumenstrom des Sekundärgases oder Sekundärmischgases oder Sekundärgasgemisches geregelt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Volumenstromregelung des Sekundärgases bzw. Sekundärmischgases bzw. Sekundärgasgemisches in Kombination mit einer Druckregelung des Sekundärgases bzw. Sekundärmischgases bzw. Sekundärgasgemisches durchgeführt derart, daß mittels der Druckregelung der Betrag des Gesamtvolumenstroms des Sekundärgases bzw. Sekundärmischgases bzw.

Sekundärgasgemisches durch die Sekundärgasdüse des Plasmabrenners geregelt wird und mittels der Volumenstromregelung die den Gesamtvolumenstrom ergebenden Volumenstromanteile unter Berücksichtigung der gewünschten Sekundärgaszusammensetzung geregelt werden.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Plasmabrenner vor der Versorgung mit dem Gas bzw. Mischgas bzw. Gasgemisch mit einem Vorströmgas mit Druckregelung separat versorgt wird und/oder nach der Versorgung mit dem Gas bzw. Mischgas bzw. Gasgemisch mit einem Nachströmgas mit Druckregelung separat versorgt wird.
13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Gas, Mischgas oder Gasgemisch ein Plasmagas, Plasmamischgas oder Plasmagasgemisch ist.
14. Anordnung (10) zur Versorgung eines Plasmabrenners mit einem Gas oder Mischgas oder Gasgemisch mit einer Einrichtung (18) zur Zuführung des Gases oder Mischgases oder Gasgemisches zum Plasmabrenner und einer Volumenstromregeleinrichtung zur Regelung des Volumenstromes des Gases oder Mischgases oder Gasgemisches,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Volumenstromregeleinrichtung mit einer Druckregeleinrichtung zur Regelung des Druckes des Gases bzw. Mischgases bzw. Gasgemisches derart kombiniert ist, daß mittels der Druckregeleinrichtung der Betrag des Gesamtvolumenstroms durch die Plasmabrennerdüse (14) des Plasmabrenners geregelt wird und mittels der Volumenstromregeleinrichtung die den Gesamtvolumenstrom ergebenden Volumenstromanteile unter Berücksichtigung der gewünschten Gaszusammensetzung geregelt werden.

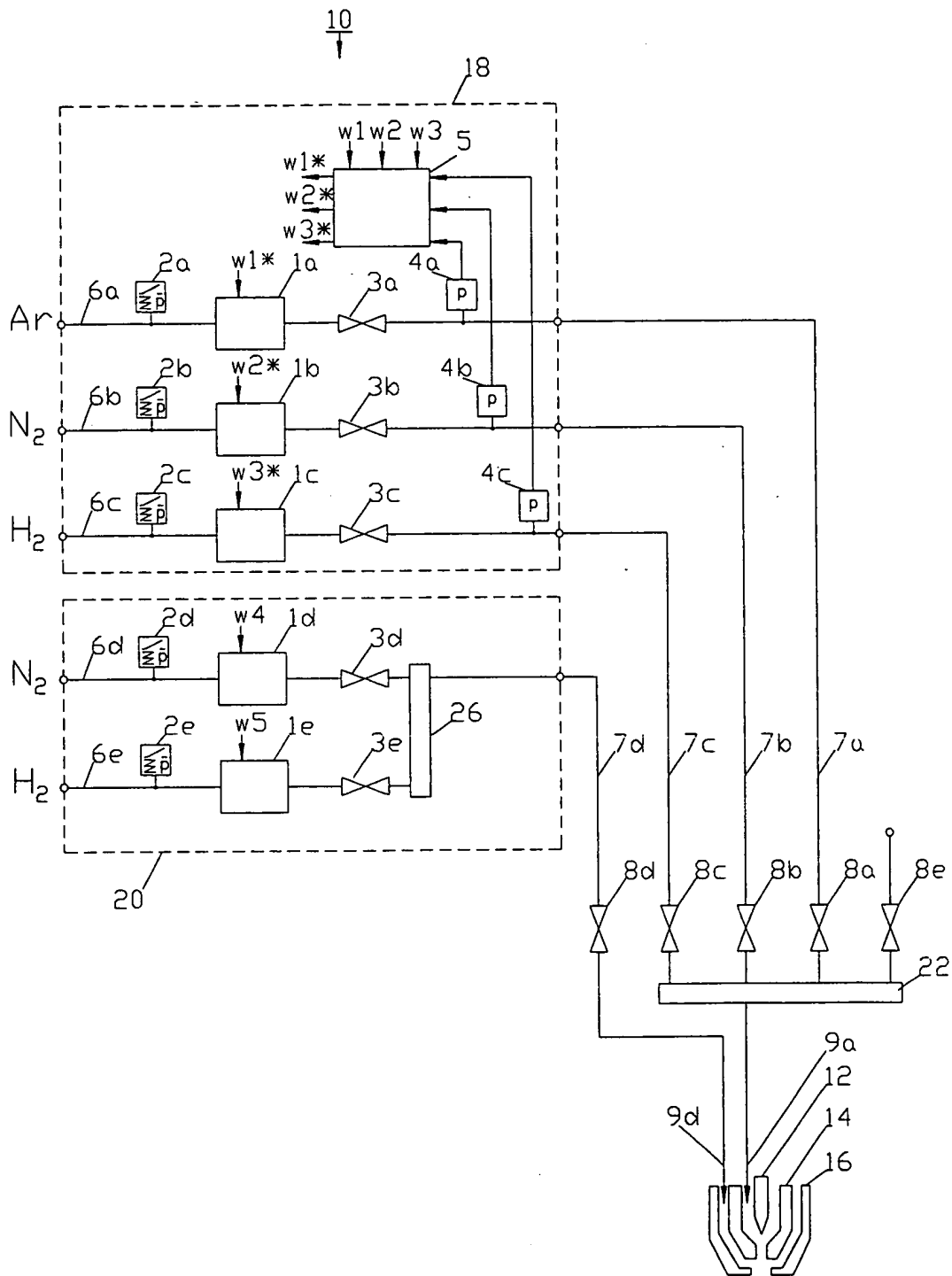
15. Anordnung (10) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß eine Druckmeßeinrichtung zur direkten oder indirekten Messung des Druckes im Innenraum des Plasmabrenners zwischen der Elektrode (12) und der Plasmabrennerdüse (14) des Plasmabrenners vorgesehen ist.
16. Anordnung (10) nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckmeßeinrichtung eine Druckmeßeinrichtung (4a, 4b, 4c) für jedes Einzelgas oder Mischgas umfaßt.
17. Anordnung (10) nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckmeßeinrichtung eine einzige Druckmeßeinrichtung (4a) zur Messung des Druckes der zusammengeführten Einzelgase oder Mischgase umfaßt.
18. Anordnung (10) nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckmeßeinrichtung mindestens eine Druckmeßeinrichtung (4a) zur Messung des Druckes von mindestens zwei zusammengeführten Einzelgasen oder Mischgasen umfaßt.
19. Anordnung (10) nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Volumenstromregleinrichtung zur Regelung des Volumenstromes eines Gasgemisches eine Volumenstromregleinrichtung (1a, 1b, 1c) für jedes Einzelgas oder Mischgas des Gasgemisches umfaßt.
20. Anordnung (10) nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich eine Einrichtung (20) zur Zuführung eines Sekundärgases bzw. Sekundärmischgases bzw. Sekundärgasgemisches zum Plasmabrenner und eine Sekundärgasvolumenstromregleinrichtung zur Regelung des Volumenstromes des Sekundärgases oder Sekundärmischgases oder Sekundärgasgemisches vorgesehen ist.

21. Anordnung (10) nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Sekundärgasvolumenstromregelung mit einer Sekundärgasdruckregelung zur Regelung des Druckes des Sekundärgases bzw. Sekundärmischgases bzw. Sekundärgasgemisches derart kombiniert ist, daß mittels der Druckregelung der Betrag des Gesamtvolumenstroms durch die Sekundärgasdüse (16) des Plasmabrenners geregelt wird und mittels der Volumenstromregelung die den Gesamtvolumenstrom ergebenden Volumenstromanteile unter Berücksichtigung der gewünschten Sekundärgaszusammensetzung geregelt werden.
22. Anordnung nach einem der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich eine Vorströmgaszuführeinrichtung zur separaten Zuführung eines Vorströmgesetzes zum Plasmabrenner und eine Druckregelung (17) zur Regelung des Druckes des Vorströmgesetzes vorgesehen sind und/oder eine Nachströmeinrichtung zur separaten Zuführung eines Nachströmgesetzes zum Plasmabrenner und eine Druckregelung (17) zur Regelung des Druckes des Nachströmgesetzes vorgesehen sind.
23. Anordnung (10) nach einem der Ansprüche 14 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß das Gas ein Plasmagas, das Mischgas ein Plasmamischgas und das Gasgemisch ein Plasmagasgemisch ist.

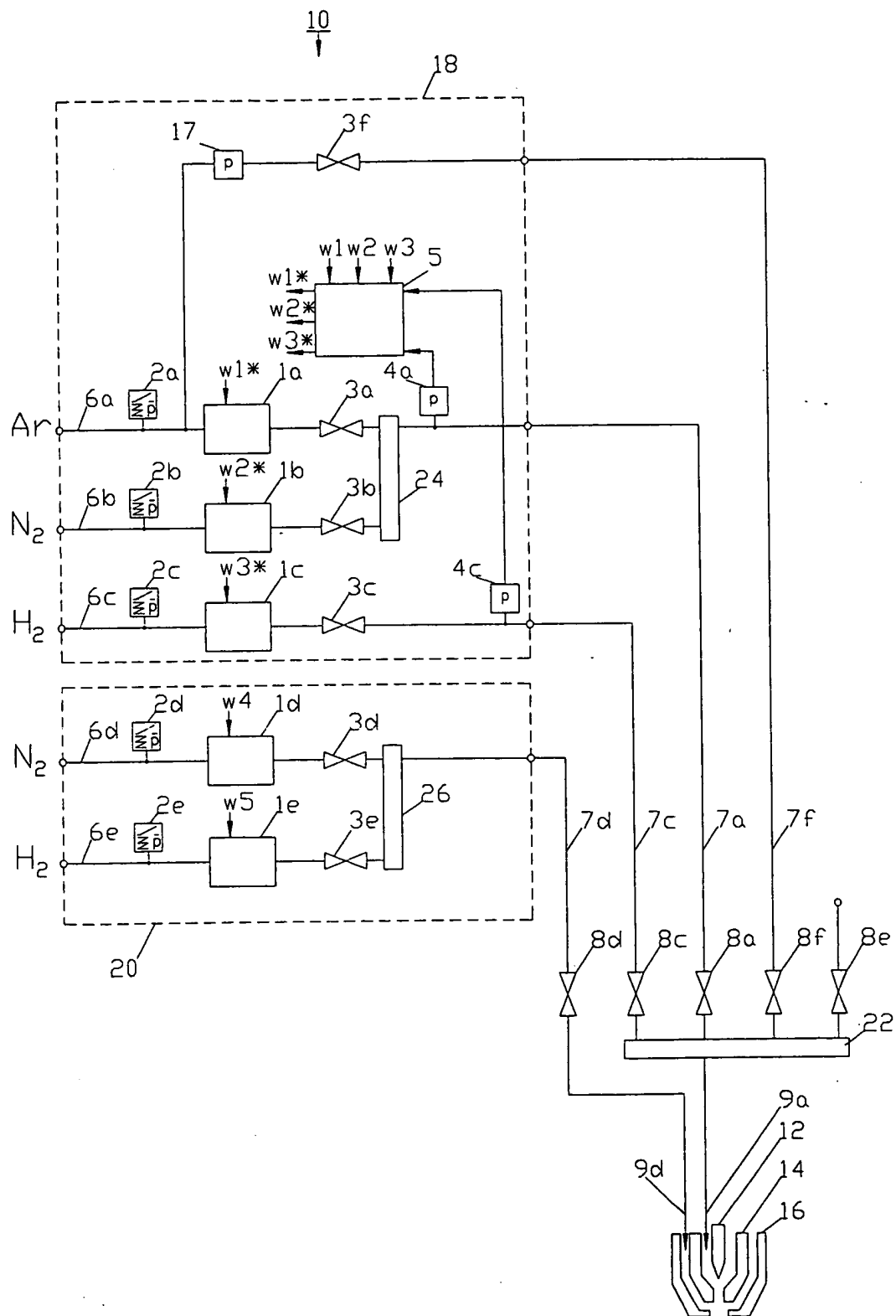
### Zusammenfassung

Verfahren zur Versorgung eines Plasmabrenners mit einem Gas, Mischgas oder Gasgemisch, bei dem eine Volumenstromregelung des Gases bzw. Mischgases bzw. Gasgemisches durchgeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Volumenstromregelung in Kombination mit einer Druckregelung des Gases bzw. Mischgases bzw. Gasgemisches durchgeführt wird derart, daß mittels der Druckregelung der Betrag des Gesamtvolumenstroms durch die Plasmabrennerdüse des Plasmabrenners geregelt wird und mittels der Volumenstromregelung die den Gesamtvolumenstrom ergebenden Volumenstromanteile unter Berücksichtigung der gewünschten Gaszusammensetzung geregelt werden, und Anordnung zur Durchführung desselben.

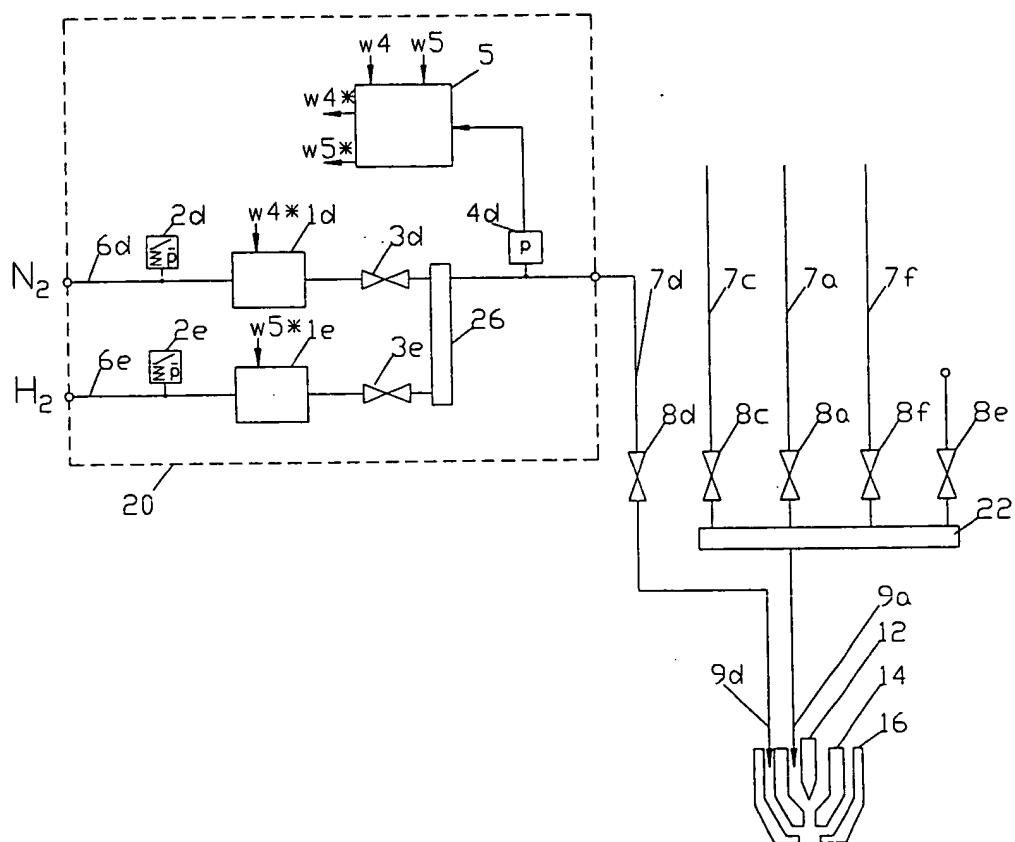




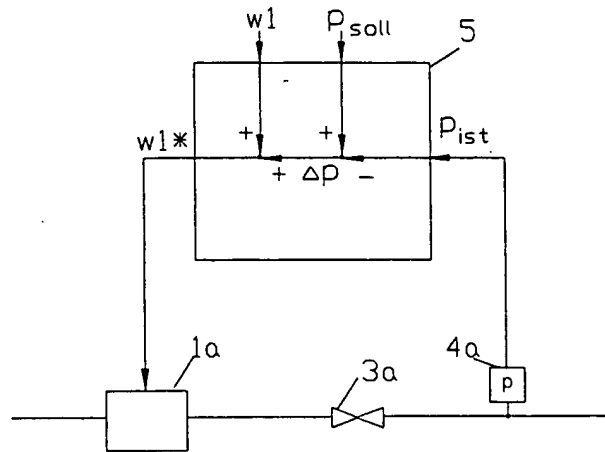
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4